

氏名(本籍地)	宮村 佳児
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博甲第 7266 号
学位授与年月日	平成 27 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	数理工学物質科学研究科
学位論文題目	

Seed cast 法による太陽電池用大型シリコン単結晶の成長と評価

主査	筑波大学教授	理学博士	関口 隆史
副査	筑波大学教授	理学博士	佐々木 高義
副査	筑波大学教授	博士(工学)	末益 崇
副査	筑波大学准教授	博士(工学)	深田 直樹
副査	九州大学学術研究員	工学博士	原田 博文

論 文 の 要 旨

太陽光発電は、これからのエネルギー源として期待が高まっている。しかしながら、その発電コストは高く、普及のため、低コスト化、且つ、高品質化が必須である。低コスト高品質の太陽電池用シリコン結晶育成法として、シードキャスト法が開発されてきた。従来多結晶を製造する鑄造炉を使用し、炉内に設置した坩堝の底に種結晶を置き、その種結晶から一方向成長で単結晶を育成する方法である。従来のシードキャスト法は、坩堝の底に複数の種結晶を敷き詰める方法(マルチシード方式)であるが、その場合、種結晶と種結晶の間には、転位や粒界が発生し、発電効率の低下は避けられなかった。そこで、種結晶を一つとし、そこから、上方向のみではなく、横方向にも成長すること(シングルシード方式)により、結晶粒界がなく、低転位密度の結晶が得られると考えられる。シングルシード方式は、従来の鑄造炉とは熱流構造を大きく変える必要があり、他ではまだ報告されていない。そこで、本研究では、シングルシードによる単結晶育成開発を行うことを目的とした。

太陽電池の効率に最も影響する結晶品質のひとつは重金属不純物であったが、原料や炉内品等により低減されてきており、現在では転位、及び、炭素不純物が重要な品質要因となってきた。従来、鑄造結晶中の炭素濃度は固溶限に達しており、低減が実現されていなかった。そこで、本研究では、シングルシードにより、転位密度、及び、炭素濃度を低減した単結晶シリコンの成長技術の開発を行った。

以下に示す成果により、本方法は、高品質低価格シリコン単結晶の育成方法として優位であることが実証された。

【シングルシード方式による単結晶成長】

シードキャスト法による大型シリコン単結晶の成長は、2008 年より、マルチシード方式で試みられてきた。従来の鑄造炉では、固液界面がほぼ水平となり、下から上への一方向成長用に設計されており、マルチ

シード方式に適している。一方、シングルシード方式においては、上方向と横方向の両方向に三次元的に成長させるために、固液界面をマッシュルーム状にする必要がある。このマッシュルーム成長のための熱流構造を、実際の炉で如何に実現するかが課題である。

本研究では、50 cm角結晶育成用の市販の鑄造炉を改造して、シードキャスト用の炉を製作した。炉内部品を全てを入れ替え、シードからの抜熱を大きくし、側面および上面からの抜熱を抑える熱流構造として、シングルシード方式での単結晶成長を行った。

【炭素・酸素濃度低減】

これまで、鑄造結晶においては、炭素濃度の大幅な低減は試みられていなかった。炭素不純物混入は炉内で発生するCOガスに起因する。そこで、COガスを、ガス流れによってルツボ内に混入させないことで、炭素濃度を低減する方法を実現させた。小型実験炉では、 $<1E17/cm^3$ まで低減した。50 cm角結晶では、 $<5E17/cm^3$ に低減した。酸素に関しても、ガス流れと離型剤の改良により、 $<3E17/cm^3$ まで低減させた。

【低転位化】

本研究において、原料溶解時に種結晶に入る転位が結晶に伝搬しリネージになることを明らかにし、また、種結晶への転位導入を低減するプロセスを見出すことで、50 cm角結晶のリネージ発生を抑止し、転位密度は $3E4/cm^2$ まで低減できた。

審 査 の 要 旨

〔批評〕

本論文では太陽電池用高品質低価格シリコン単結晶を得るために、シングルシードキャスト法を提案し、実用レベルの結晶成長炉を製作して、結晶成長を行った。目標として、転位密度 $3E4/cm^2$ 以下、炭素濃度 $<5E17/cm^3$ 、酸素濃度 $<3E17/cm^3$ を掲げて、これらを実現させ、この手法の優位性を証明した。

本研究を通して、シングルシードキャスト法は、将来の高品質低価格単結晶シリコンを育成するための有力な手段となりえることが結論された。

以上の理由から、本論文は博士論文として十分と判断された。

〔最終試験結果〕

平成27年2月18日、数理物質科学研究科学学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文についての説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

〔結論〕

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。